

DVM: משחק המחבואים הגדול בעולם

Jennifer J. Freer^{1*}, Laura Hobbs^{2,3}

¹הסקר הבריטי האנטארקטי, קיימברידג', בריטניה

²האיגוד הסקוטי למדעי הים, אובאן, בריטניה

³המחלקה למתמטיקה ולסטטיסטיקה, אוניברסיטת סטראת'קלייד, גלזגו, בריטניה

סוקרת צעירה

GEMMA
גיל: 16



הגירה אנכית יומית (DVM - Diel Vertical Migration)

התנועה היומית המסונכרנת של חיות ימיות בין שכבות פני השטח והעומק של האוקיינוס.

הגירה אנכית יומית (DVM – Diel vertical migration) מתייחסת לתנועה יומית מסונכרנת של חיות ימיות בין פני השטח והשכבות העמוקות של האוקיינוס הפתוח. ההתנהגות הזו היא הגירת החיות הגדולה ביותר בכדור הארץ, והיא מתרחשת כל יום על ידי מיליארדי חיות בכל אוקיינוס. כמו משחק מחבואים גדול, חיות שמבצעות DVM מבלות את היום בהיתחבאות מפני טורפים בעומק האוקיינוס, ואז מהגרות לפני השטח כדי לאכול תחת כיפת החושך. במאמר זה נסקור את האסטרטגיה המדהימה הזו להישרדות. נכיר את החיות המעורבות, נתאר כיצד סביבת האוקיינוס הפתוח מניעה DVM ונחשוף שאלות שעדיין דורשות תשובה בזמן שסביבת האוקיינוס ממשיכה להשתנות.

מהי הגירה אנכית יומית?

להקות ציפורים שעפות דרומה בחורף, ועדרים עצומים של אגמים שמחפשים שדות מרעה ירוקים באזור סְרָנְגֵטִי, הן דוגמאות מוכרות להגירת חיות. **הגירה אנכית יומית** (DVM – Diel Vertical Migration) היא פחות מוכרת, אולם אנו חושבים שתמצאו כי היא מרתקת באותה המידה. DVM מתארת את התנועה המסונכרנת של חיות ימיות בין פני השטח לבין השכבות

אפיפלג'י (Epipelagic)

פני השטח של האוקיינוס הפתוח בעומק של בין 0 ל-200 מטרים. בשכבה הזו יש מספיק אור עבור גדילת פיטופלנקטון.

מזופלג'י (Mesopelagic)

השכבה האמצעית של האוקיינוס הפתוח בעומק שבין 200 ל-1,000 מטרים. האור דועך במהירות בשכבה הזו, ולעיתים קרובות היא מכונה "אזור הדמדומים".

זואופלנקטון (Zooplankton)

קבוצה מגוונת של חיות ימיות שהן לרוב מיקרוסקופיות בגודלן, אולם יכולות לכלול מדוזות וביצים של חיות גדולות יותר. זואופלנקטון יכולים לשחות או להניע את עצמם כדי למצוא מזון ובני זוג באופן מקומי, אולם הם יכולים לטייל למרחקים גדולים בים רק על ידי היסחפות עם הזרמים.

<http://www.mbari.org/canon-spring-2019/>
(גישה יוני, 2019).

טורף (Predator)

חיה שמשגינה מזון על ידי ציד וצריכת חיות אחרות.

פיטופלנקטון (Phytoplankton)

צמחים ימיים מיקרוסקופיים שמהווים את בסיס שרשרת המזון בים. ממש כמו צמחים על היבשה, פיטופלנקטון זקוקים לאור שמש כדי לחיות ולגדול.

העמקות באוקיינוס הפתוח. ההתנהגות הזו מתרחשת בכל יום, בכל אוקיינוס, ומבחינת ביומקסה היא ההגירה הגדולה ביותר על פני כדור הארץ!

כדי להבין טוב יותר את ההתנהגות הזו, בואו נפרק את DVM למילותיה השונות: Diel משמעותה שהיא מתרחשת על בסיס יומי, במחזור של 24 שעות. Vertical מתייחס לכיוון התנועה למעלה ולמטה בעמוד המים, באופן כללי בין שכבת פני השטח (שנקראת השכבה האפיפלג'ית) לבין שכבה עמוקה יותר, אמצעית (שנקראת שכבה מזופלג'ית). זה מכסה מרחק עצום של עד 1,000 מטרים, ועבור חיות קטנות באוקיינוס שנקראות זואופלנקטון שמבצעות DVM, זהו מסע מרשים; "זוהי תנועה אדירה בסקאלה שלהם. אם הייתם משווים אותה לבני אדם, זה היה כמו לרוץ עשרה קילומטרים לפני שהייתם מקבלים את ארוחת הערב שלכם, ואז עשרה קילומטרים לפני שהייתם הולכים לישון, ולעשות את זה במהירות גדולה פי שתיים ממרתוניסטים אולימפיים", אמרה המדענית הראשית קלי בנויט-בירד מ-MBARI¹.

לבסוף, הגירה אומרת לנו שזוהי תנועה מאסיבית של חיות. מבחינת ביומסה (המסה הכוללת של חיות באזור נתון), היא נחשבת כהגירה הגדולה ביותר של חיות על פני כדור הארץ. לדוגמה, לדגי ההגירה הקטנים בלבד יש משקל מוערך של יותר מ-1,000 מיליוני טונות [1]! ההגירה העולמית גם נותנת לנו רמז שה-DVM אינה אקראית או מתבצעת לְשֵׁם כִּף, אלא היא משמשת מטרה חשובה – לסייע לחיות לשרוד.

מדוע חיות עושות את זה?

אם כן, כיצד מרתון יומי של מרחק כזה מסייע לחיות האלה להישאר בחיים?

בואו נבין את הסצנה. באוקיינוס, האור משתנה דרך עמוד המים, ויוצר מים בפני השטח, המוארים באור, ומי עומק חשוכים. האור הזה גם משתנה במהלך היום. תנאי האור האלה, שמשתנים גם בעומק וגם בזמן, חשובים להנעת התנהגות DVM.

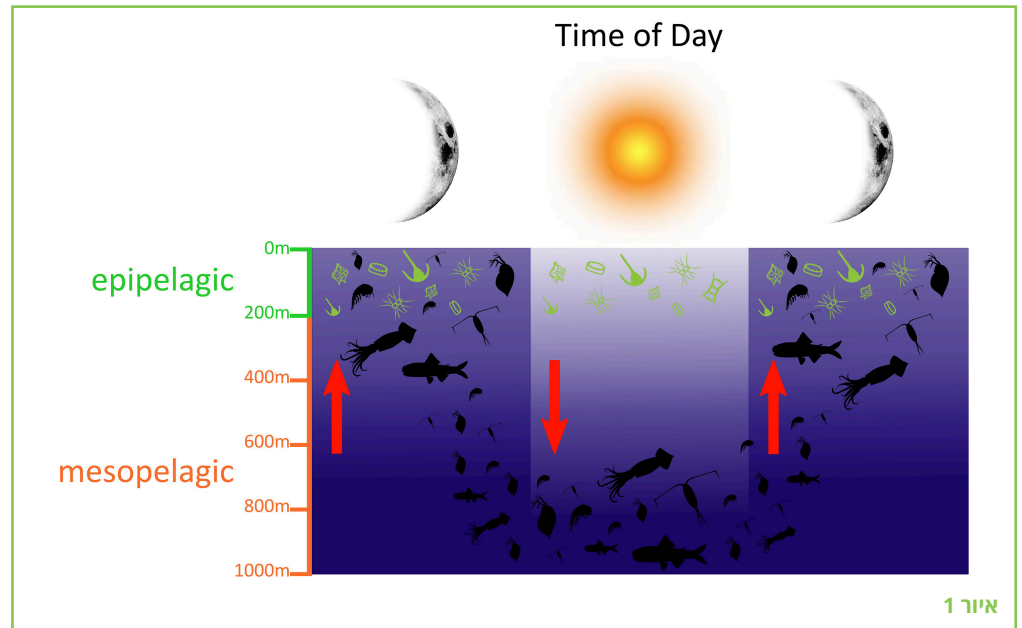
זואופלנקטון הם "חטיפים" בגודל ביס, עתירים באנרגיה, עבור **טורפים** רבים, כמו למשל דגים, לוויתנים ועופות ימיים. הטורפים האלה מהירים ומשתמשים בעיניהם כדי לאתר את המזון שלהם, מה שאומר שהם הכי יעילים בציד במהלך היום ובמי פני השטח שמוארים באור השמש. אולם, מקור המזון של הזואופלנקטון, צמחים זעירים שנקראים **פיטופלנקטון**, גם הם נמצאים במי פני השטח.

לכן, הזואופלנקטון עומדים בפני דילמה: אם הם ישארו במי פני השטח כדי להשיג מזון, הם מסתכנים בכך שייטרפו. אם הם מתחבאים במעמקים הם יהיו בטוחים יותר, אולם ירעבו תוך זמן קצר. זה מה שאנו מכנים "שקלול תמורות" (tradeoff): כל אפשרות (להשיג מזון או להתחבא) מביאה עימה תועלת, אולם יש לה גם מחיר. DVM הוא הפתרון החכם של זואופלנקטון לשם איזון שקלול התמורות הזה, והנאה מהטוב שבשתי האפשרויות [2].

ממש כמו משחק מחבואים, זואופלנקטון נשארים במים העמוקים והכהים במהלך שעות היום, הרחק משדה ראייתם של טורפים. מתחת לכיפת הלילה, הם מהגרים למעלה מהשכבה המזופלג'ית לשכבה האפיפלג'ית, שם הם יכולים לאכול במסגרת הביטחון היחסי של החושך בלילה (איור 1).

איור 1

אור, מזון וסכנת היטרפות מניעים הגירה אנכית יומית עבור (DVM) זואופלנקטון ודגים. כשחשור, זואופלנקטון ודגים קטנים עולים כדי לאכול במים האפיפלגיים תחת כיפת החושך. כאשר יש אור, הם מהגרים חזרה אל ביטחונם של המעמקים המזופלגיים החשוכים יותר.



איור 1

מתי חיות באוקיינוס מהגרות באופן הזה?

זואופלנקטון רוצים לאכול במשך הזמן הארוך ביותר האפשרי, אולם הם גם רוצים להימנע מפני השטח במהלך אור היום. כתוצאה מכך, הם כיווננו ברגישות את ההגירות שלהם לתזמונים של הזריחה והשקיעה – מהגרים למעלה כאשר השמש שוקעת, ומהגרים למטה כאשר השמש זורחת (איור 1).

בגלל העונות, זמני ההגירות למעלה ולמטה משתנים במהלך השנה. בסתיו ובאביב, היום והלילה ארוכים כ-12 שעות כל אחד ברוב האזורים בכדור הארץ. אולם בחורף הימים קצרים מאוד והלילות ארוכים מאוד, מה שאומר שהזריחה הרבה יותר מאוחרת, והשקיעה הרבה יותר מוקדמת, כאשר בקיץ קורה הדבר ההפוך. אנו רואים את השינויים האלה משתקפים בתזמונים של הגירות זואופלנקטון.

יוצא דופן לכלל הזה מתרחש בקווי רוחב גבוהים – באזורים הארקטיים והאנטרקטיים. כאן, העונות כל כך מודגשות, והימים נעשים כל כך קצרים בחורף, שאור היום לא מתקיים במשך חודשים כל פעם. במהלך התקופה הזו, שנקראת הלילה הפולרי, האזור חשור 24 שעות ביממה. אם כן, מה זואופלנקטון עושים? נהגו לחשוב שהם נכנסו לתרדמת בזמן הזה. אולם מחקרים עכשוויים הראו לנו שחלקם נשארים ערים במהלך כל החורף [3]. במקום להגר בהתאם לשמש, הם מתחילים להגר בתגובה לאור הירח [4].

אלו חיות באוקיינוס מבצעות DVM?

כאשר אנו משתמשים במילה זואופלנקטון, אנו מתייחסים לקבוצת חיות עם מגוון עצום. הן יכולות להשתנות בגודל מפחות ממילימטר אורך ועד לדוגמאות גדולות הרבה יותר, כמו למשל מדוזות. חיות זואופלנקטון יכולות להיראות שונות מאוד זו מזו, אולם הן מאוחדות תחת ההגדרה

איור 2

דוגמאות לזואופלנקטון וקבוצות דגים שחיות באזור המזופלגי ועשויות לבצע DVM. (A) פרפר הים (קרדיט: א. הופקרופט, NOAA); (B) שטרגלי (קרדיט: י. קילס); (C) סיפונפרי (קרדיט: ק. ראסקופף, NOAA); (D) שטצדאי (קרדיט: א. א. לאזו-וואסם); (E) דג גרזנון ניזון מסרטן (קרדיט: פ. קוסטה); (F) תמנון זכוכית (קרדיט: א. ווידר, NOAA); (G) מסרקנית (קרדיט: א. סמנוב); (H) סרטן מסוג decapod (קרדיט: ס. פילדינג); (I) דג דרקון (קרדיט: א. ווידר/NOAA, HBOI).



איור 2

שאפילו שהן מסוגלות לשחות קצת או להניע את עצמן בעמוד המים, הן יכולות לטייל למרחקים גדולים בים רק על ידי היסחפות עם הזרמים.

דוגמאות מסוימות של זואופלנקטון אפשר לראות באיור 2.

זואופלנקטון חשובים מאוד עבור המערכות האקולוגיות שלנו. זואופלנקטון רבים אוכלים פיטופלנקטון והופכים זאת למקור אנרגיה. כאשר זואופלנקטון שאוכלים פיטופלנקטון נאכלים בעצמם, האנרגיה מהפיטופלנקטון נעשית זמינה לזואופלנקטון גדולים יותר, לדגים, ואפילו ללווייתנים. לכן, DVM משפיעה על חיות גדולות הרבה יותר לאורך שרשרת המזון מאשר רק הזואופלנקטון עצמם. לא רק זואופלנקטון מבצעים DVM. DVM נצפתה אצל דגים, ואפילו חלק מהכרישים מבצעים גרסה של DVM. אם כן, זהו לא רק משחק אחד פשוט של מחבואים. אלו זואופלנקטון שמתחבאים מהטורפים שלהם (כמו למשל דגים קטנים), אשר גם מבצעים DVM כדי להתחבא מהטורפים שלהם (דגים גדולים). המשחק המאסיבי הזה מתרחש כל לילה, ממש מתחת לגלים.

היכן DVM מתרחשת?

אם תסתכלו בכל יום, אוקיינוס, או אגם ברחבי כדור הארץ בזמן נתון, תמצאו חיות שמבצעות DVM. בשקיעה בכל לילה הן שוחות לפני השטח, ובזריחה הן שוקעות למעמקים. DVM מתרחשת בכל מקום! התזמונים המדויקים משתנים. הרחק מקו המשווה, הימים ארוכים יותר בקיץ וקצרים יותר בחורף, ותזמוני ההגירות משקפים זאת. בנקודות השוויון של האביב והסתיו, ב-21 בספטמבר וב-21 במרץ, אורך היום זהה בכל רחבי כדור הארץ. בתיאוריה, כל ההגירות צריכות להתרחש לכיוון פני השטח בסביבות השעה שש בערב. כאשר כדור הארץ מסתובב והשמש שוקעת, המהגרים מתחילים לשחות. דמיינו זאת כמו איצטדיון עצום של גלים ברחבי גופי המים של העולם.

מה הלאה?

מדענים מעלים באופן שוטף רעיונות חדשים לגבי מה שולט בתזמונים של DVM, בעומקים שלה ובמשכה. ראיות עדכניות מציעות כי DVM עשויה לא להיות תגובה פשוטה וישירה לאור. הטמפרטורה ורמות החמצן במים, ואפילו ההרכב הגנטי של חיות פרטניות, הם גורמים שקובעים היכן החיות ממוקמות בעמוד המים במהלך המחזור היומי [2].

כאשר האוקיינוס ממשיך להתחמם עם שינוי האקלים, מדענים רוצים להבין כיצד השתנות הסיבה תשפיע על DVM. לדוגמה, דגים וזואופלנקטון נעים צפונה כדי להישאר בטווח הטמפרטורות האופטימלי עבורם. זה עשוי להביא אותם לתנאי תאורה חדשים, ולחשוף אותם לימים ארוכים יותר בקיץ וקצרים יותר בחורף [5]. כיצד סביבת האור החדשה הזו יכולה להשפיע על ההגירות שלהם? האם הם יאמצו את האסטרטגיה המכוונת ברגישות שלהם, או האם האוכלוסיות יחוו אחוזי הישרדות נמוכים יותר?

מדענים מתעניינים בשאלות האלה מאחר שזואופלנקטון וה-DVM שלהם חשובים מאוד. הסיבה לכך היא שאחרי שהם ניזונים כל הלילה בפני השטח, הזואופלנקטון מהגרים למעמקים, ולוקחים את הצואה מלאת הפחמן שלהם איתם. חתיכות הצואה האלה משמשות כנשאים מהירים עבור פחמן, שיכול להיכלא במשך אלפי שנים כשהוא מגיע לתחתית הים [6]. מאחר שרמות הפחמן באטמוספירה שלנו תורמות להתחממות הגלובלית, כל שינוי באוכלוסיות של זואופלנקטון יכול להוביל להשלכות רחבות על יעילותה של הסרת הפחמן הזו, ועל יכולתו של האוקיינוס לסייע לווסת את האקלים הגלובלי.

באופן כללי, הביטוי "עדיף להיות רעב מאשר מת" [7] מסכם בתמציתיות את הסיבה לכך שכל כך הרבה חיות משתתפות במשחק העצום הזה של מחבואים, שידוע בשם DVM. באמצעות הזנה בלילה והתחבאות במהלך היום, DVM מאפשרת להן לאזן את צורכן לאכול בעוד שהן נמנעות מלהיאכל! DVM הכרחית להבנת ההגירות האדירות האלה, ותפקידיהן הרבים באוקיינוס הפתוח. אפשר לומר שזהו גורם מפתח שביכולתו לשנות את המשחק.

תודות

אנו רוצות להודות לסוקרים, למנטורים המדעיים, אנה בלצ'ור וגארת' פלינט, עבור שיפור ניכר של הטקסט בכתב היד.

מקורות

1. Irigoien, X., Klevjer, T. A., Rostad, A., Martinez, U., Boyra, G., Acuna, J. L., et al. 2014. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nat. Commun.* 5:3271. doi: 10.1038/ncomms4271
2. Brierley, A. S. 2014. Diel vertical migration. *Curr. Biol.* 24:R1074–6. doi: 10.1016/j.cub.2014.08.054
3. Berge, J., Cottier, F., Last, K. S., Varpe, O., Leu, E., Soreide, J., et al. 2009. Diel vertical migration of Arctic zooplankton during the polar night. *Biol. Lett.* 5:69–72. doi: 10.1098/rsbl.2008.0484
4. Last, K. S., Hobbs, L., Berge, J., Brierley, A. S., and Cottier, F. 2016. Moonlight drives ocean-scale mass vertical migration of zooplankton during the Arctic winter. *Curr. Biol.* 26:244–51. doi: 10.1016/j.cub.2015.11.038
5. Kaartvedt, S. 2008. Photoperiod may constrain the effect of global warming in arctic marine systems. *J. Plankton Res.* 30:1203–6. doi: 10.1093/plankt/fbn075
6. Manno, C., Stowasser, G., Enderlein, P., Fielding, S., and Tarling, G. A. 2015. The contribution of zooplankton faecal pellets to deep-carbon transport in the Scotia Sea (Southern Ocean). *Biogeosciences* 12:1955–65. doi: 10.5194/bg-12-1955-2015
7. Kremer, P., and Kremer, J. N. 1988. Energetic and behavioral-implications of pulsed food availability for zooplankton. *Bull. Mar. Sci.* 43:797–809.

פורסם אונליין: 07 בפברואר 2022

נערך על ידי: Kirsty C. Crocket

ציטוט: DVM (2022) Freer JJ and Hobbs L (2020) משחק המחבואים הגדול בעולם. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00044-he

תורגם והותאם: Freer JJ and Hobbs L (2020) DVM: The World's Biggest Game of Hide-and-Seek. *Front. Young Minds* 8:44. doi: 10.3389/frym.2020.00044

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Freer and Hobbs 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרת צעירה

GEMMA, גיל: 16

Gemma, אני בת 16 ואני אוהבת לעשות ספורט ולנגן מוזיקה.



הכתבות

JENNIFER J. FREER

אני מדענית ימית בסקר האנטארקטי הבריטי, ותמיד הייתי מרותקת מהחיים באוקיינוס. עבודתי מכוונת לסייע בהבנת האופן שבו חיות ימיות מפולגות, מה שולט על ההתפלגויות שלהן וכיצד שינויי אקלים יכולים להשפיע עליהן. אני חוקרת זואופלנקטון ודגים פלגים שנמצאים באוקיינוסים בקטבים, ומשתמשת בשיטות מבוססות מודלים כדי לחזות את הטווחים העתידיים שלהם. בין אם זה בילוי זמן על ספינה, הליכות על חופים, או גלישה, אני הכי שמחה בתוך הים או בקרבתו. *jenfree@bas.ac.uk



LAURA HOBBS

תמיד חשבתי על עצמי כתלסופילית - אוהבת אוקיינוס. בעשר השנים האחרונות לערך, ביליתי זמן רב ככל הניתן בעבודה באזור הארקטי. אני מוצאת שזהו אזור מרתק מאוד לחקירה. מחזור האור ייחודי לחלוטין, ושמש החצות והלילה הפולרי מעלים שאלות חשובות מאוד באקולוגיה, בפרט בהקשר לחיות ולתגובה לאור (כמו למשל זואופלנקטון). אני משתמשת בשיטות שונות ורבות כדי לחקור זואופלנקטון, וחלק מהן מערבות התקנה של ציוד באוקיינוס הארקטי במשך שנה בכל פעם.



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל

Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK